ZnO/LiNbO₃ の表面弾性波フィルター温度特性*山本 英樹*¹・雑賀 憲昭*¹・西守 克己*²

(受理2000年11月27日, 掲載決定2001年1月6日)

Temperature Dependence of Surface Acoustic Wave Filter on ZnO/LiNbO₃Hideki YAMAMOTO*¹, Noriaki SAIGA*¹ and Katsumi NISHIMORI*²

*¹(Department of Electronic Control Engineering, Yonago National College of Technology,
4448 Hikona, Yonago, Tottori 683-8502, Japan)

*²(Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Tottori University,
Koyama, Tottori 680-8552, Japan)

(Received November 27, 2000, Accepted January 6, 2001)

The temperature dependence on insertion loss of surface acoustic wave (SAW) filters on ZnO/LiNbO₃ was measured for “Hyo-On” (the temperature between 0°C and freezing point) temperature sensor. ZnO thin films were deposited on z-cut LiNbO₃ substrates by using a RF-sputtering technique in O₂ (20%) + Ar (80%) atmosphere at 603 K. The deposition time was changed from 20 to 80 minutes. SAW filters were formed on the ZnO thin films. The insertion loss of the SAW filters decreased when ZnO film thickness increased. The decrease of insertion loss of the SAW filter with increasing temperature change is 1.8%/°C in logarithmic scale at 154 MHz.

1. はじめに

ZnO 薄膜は、透明で圧電性を有し、その圧電、電気光学特性を生かした音響デバイス、音響光学デバイス、電気光学デバイスなどの材料として有効であり、単結晶化の研究が進められている^{1,2)}。また、LiNbO₃ 結晶も ZnO 薄膜と同様、透明で圧電性のある結晶であり、光導波路や表面弾性波 (Surface Acoustic Wave: SAW と略す) フィルターなどに用いられており³⁾、LiNbO₃ 結晶上に結晶性の良い ZnO 薄膜を作成できれば、光導波路や SAW フィルターの多層化などが期待でき、非常に有効である。一般的に、ZnO 薄膜を作製する手段としては、RF スパッタリング法^{4,5)}、CVD 法⁶⁾などが用いられている。これまでに、筆者らは、RF スパッタリング法を用い、x, y, 128° rot y, z カットの 4 種類の LiNbO₃

結晶上に ZnO 薄膜を作製し、x カットおよび z カット LiNbO₃ 結晶上に c 軸配向の ZnO 薄膜が得られることを確認した⁷⁾。また、z カット LiNbO₃ 結晶上 (z-LN 基板と略す) で Ar, O₂ のガス混合比、成膜時の基板温度の影響を測定し、その最適条件を決定した⁸⁾。今回、ZnO スパッタ薄膜の SAW フィルター温度特性に着目し、氷温域の温度センサとしての可能性を調べた。氷温 (Hyo-On) は 0°C 以下の未凍結の温度領域 (-15~0°C) であり、この温度領域を用いた生体の保存、加工技術が氷温技術として注目されている。従来の氷温域における温度センサーは、熱電対のようにポイント (点) 測定形が多用されており、SAW フィルターのように広い面全体の波動現象を利用した温度センサが、生体薄片などの測定に必要であり、また、周波数を用いるので、高精度なデジタル測定が期待できる。そのため、z-LN 基板上の ZnO スパッタ薄膜に一組の IDT (Inter Digital Transducer) を作製し、SAW フィルター特性の温度依存性を測定した。本報告では、作製した ZnO スパッタ薄膜の結晶性、SAW フィルター伝送特性および

* 平成12年10月27日 第41回真空に関する連合講演会で発表 (27Bp-8)

*¹ 米子工業高等専門学校電子制御工学科 (〒683-8502 鳥取県米子市彦名町4448)*² 鳥取大学工学部電気電子工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

Fig. 1 Schematic diagram of sputtering apparatus for deposition of ZnO films.

Table 1 Deposition conditions

Ultimate Low Pressure	6.7×10^{-5} Pa
Sputtering Pressure	9.3×10^{-1} Pa
Sputtering Time	20~80 min.
RF Power	100 W
Target	ZnO (99.99%)
Substrate	z-cut LiNbO ₃
Substrate Temp.; T _s	603 K
Sputtering Gas	Ar+O ₂
O ₂ Gas Flow Rate	20%

SAW フィルター挿入損失の温度依存性について述べる。

2. 実験方法

2.1 ZnO 薄膜作製方法

薄膜作成には、RF スパッタ装置（島津製作所 HSR-521A）を用いた。装置の概略を Fig. 1 に示す。基板には z-LN 基板を用い、ホルダーに基板加熱用セラミックヒータと共に取り付けられた。ターゲットには ZnO 焼結体を用いた。スパッタ時には、まず、真空槽内を 6.7×10^{-5} Pa 以下に排気した後、Ar ガス（80%）および O₂ ガス（20%）を導入し、メインバルブを絞って槽内の圧力を 9.3×10^{-1} Pa にした。次に、基板加熱用ヒータに電流を流し、基板温度（T_s と略す）を 603 K にした後、RF（13.56 MHz）電力 100 W で、時間を 20, 60, 80 分の 3 通りで膜製作を行った。堆積速度は約 15 nm/min⁸⁾ であり、膜厚（ δ ）はそれぞれ約 300, 900, 1200 nm である。薄膜作製後は、雰囲気ガス中で冷却をした後、基板を取り出し、大気中で保存した。薄膜作製の条件を Ta-

Fig. 2 SAW filter on ZnO/LiNbO₃ structure.

ble 1 に示す。得られた薄膜の結晶構造は X 線回折装置により解析を行った。

2.2 SAW フィルターの構成

z-LN 基板上および各膜厚（ $\delta=300, 900, 1200$ nm）の ZnO スパッタ薄膜上に周期 200 μ m、電極交差長 8.5 mm、電極指数 5 本の一組の IDT を Al 蒸着およびエッチングにより作製し、SAW フィルターを構成した。IDT の Al 膜厚（h）は、蒸着時に水晶振動子法⁹⁾で測定した。詳細を Fig. 2 に示す。作製した SAW フィルターの伝送特性は、ネットワークアナライザにより測定した。また、ZnO スパッタ薄膜上（ $\delta=900$ nm）に作製した SAW フィルターに対し、ペルチェ素子により温度を -15~25°C の間で変化させながら、挿入損失の温度依存性を測定した。

3. 実験結果および検討

Fig. 3 に O₂ ガス流量比 20%、T_s=603 K、成膜時間 20, 60, 80 分（ $\delta=300, 900, 1200$ nm）の各条件で z-LN 基板上に作製した ZnO スパッタ薄膜の X 線回折パターンを示す。34.2° に ZnO(002) による回折ピーク、38.9° に LiNbO₃(006) による回折ピークが得られた。膜厚と LiNbO₃(006) 回折強度に対する ZnO(002) 回折強度の相対値および半値半幅の関係を Fig. 4 に示す。これらの回折パターンより、成膜時間の増加に伴い、ZnO(002) 回折強度の上昇および半値半幅の減少が確認でき、成膜時間 60 分（ $\delta=900$ nm）以上で良好な c 軸配向の ZnO 結晶薄膜が得られることがわかった。

次に、z-LN 基板上および各膜厚の ZnO スパッタ薄膜上（ $\delta=300, 900, 1200$ nm）に作製した SAW フィルターの伝送特性を Fig. 5 に示す。z-LN 基板上に作製し

Fig. 3 XRD patterns of ZnO films on z-cut LiNbO₃ substrate of various film thicknesses.

Fig. 4 ZnO (002) XRD peak intensity and half width of the film on z-cut LiNbO₃ substrate as a function of ZnO film thickness.

た SAW フィルターでは、20 MHz および 35 MHz 付近に通過帯域が観察されたのに対し、各膜厚の ZnO スパッタ薄膜上に作製した SAW フィルターでは、新たに 30 MHz 付近に通過帯域が見られた。この 30 MHz の通過帯域は、z-LN 基板における 20 MHz 付近の通過帯域が、ZnO スパッタ薄膜堆積の影響により 30 MHz 付近に移った可能性も考えられるが、位相速度の変化量が大きすぎることから、新たに通過帯域が発生したものと考えられる。35 MHz および 55 MHz 付近のピークについては、ZnO 薄膜の効果は認められなかった。また、通過帯域における信号強度は、ZnO スパッタ薄膜の膜厚増加に従い、増加する傾向があることが確認できた。この結果、c 軸配向の ZnO 薄膜を z-LN 基板上に形成することにより、電気機械結合係数が向上するものと考えられる。

Fig. 5 Insertion loss of SAW filter on z-cut LiNbO₃ and ZnO/LiNbO₃.

Fig. 6 Temperature dependence on insertion loss of SAW filter on z-cut LiNbO₃ and ZnO/LiNbO₃ substrates.

z-LN 基板上および ZnO スパッタ薄膜上 ($\delta=900$ nm) の SAW フィルターの挿入損失の温度依存性を調べるため、基板温度を変化させながら挿入損失変化量を測定した。結果を Fig. 6 に示す。挿入損失変化量は、 -15°C の挿入損失値を基準とした。この結果、z-LN 基板において、46 MHz 付近で挿入損失の変化が比較的小さい領域が観測された。また、8 MHz および 80 MHz 付近に挿入損失変化量が大きい領域が確認できた。一方、ZnO スパッタ薄膜においては、48 MHz を中心に挿入損失の変化が比較的小さい領域が観測され、新たに 70 MHz、110 MHz および 154 MHz 付近に挿入損失変化

Fig. 7 Temperature dependence on insertion loss of SAW filter on z-cut LiNbO₃ and ZnO/LiNbO₃ substrates at 46 MHz, 48 MHz and 154 MHz.

量が大きな領域が見られた。z-LN 基板および ZnO スパッタ薄膜の 8 MHz, 70 MHz, 80 MHz および 110 MHz における挿入損失は、変化する周波数範囲が狭く、また、 -15°C から -10°C の間で急激に変化し、その後あまり変化していないのに対し、ZnO スパッタ薄膜の 154 MHz 付近の挿入損失変化は、広い周波数範囲で温度上昇に伴い直線的に減少する傾向が見られた。z-LN 基板および ZnO スパッタ薄膜上の SAW フィルターにおける 154 MHz 付近の挿入損失変化量の直線性と変化率を測定するため、基板温度を -15°C から 25°C まで約 2°C ステップで変化させながら挿入損失変化量を測定した。挿入損失変化量は、 -15°C の挿入損失値を基準とし、測定周波数は 46 MHz, 48 MHz および 154 MHz とした。測定結果を Fig. 7 に示す。z-LN 基板上の SAW フィルターでは、46 MHz および 154 MHz において挿入損失の温度依存性は、認められなかった。一方、ZnO スパッタ薄膜上の SAW フィルターでは、ノイズによる変動が見られるものの、154 MHz において、温度上昇に従いほぼ直線的に減少していくことが確認でき

た。また、挿入損失の変化率は $0.16\text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ ($1.8\%/^{\circ}\text{C}$) であることがわかった。以上の結果より、ZnO/LiNbO₃ 上の SAW フィルターは、氷温域の温度センサとして使用可能と考えられるが、SAW フィルターの挿入損失の減少により、ノイズの低減を行う必要があることがわかった。

4. ま と め

z カット LiNbO₃ 結晶上に成膜時間（膜厚）を変化させながら ZnO スパッタ薄膜を作製した。X 線回折による結晶性評価の結果、膜厚 900 nm 以上で良好な c 軸配向の ZnO 薄膜結晶が得られた。また、z カット LiNbO₃ 結晶上および ZnO スパッタ薄膜上に表面弾性波フィルターを構成し、フィルターの伝送特性および挿入損失の温度依存性を測定した。ZnO スパッタ薄膜堆積により、ZnO 膜による新たな通過帯域（中心周波数 30 MHz）が生成され、それに伴い通過帯域での信号強度の増加が見られた。さらに、膜厚 900 nm の ZnO スパッタ薄膜のフィルター特性において、直線的な温度依存性を持つことを確認した。

【文 献】

- 1) K. Matsubara, P. Fons, A. Yamada, M. Watanabe and S. Niki: Thin Solid Films, **347** (1999) 238.
- 2) H-B. Kang, Y. Yoshida and K. Nakamura: Jap. J. Appl. Phys., **37** (1998) 5220.
- 3) N. Saiga and Y. Ichioka: J. Appl. Phys., **61** (1987) 1230.
- 4) 小林浩志, 伊ヶ崎康宏, 島岡五朗: 静岡大学電子工学研究所研究報告, **19** (1985) 47.
- 5) S. Takada: J. Appl. Phys., **73** (1993) 4739.
- 6) T. Shiosaki, S. Ohnishi and A. Kawabata: J. Appl. Phys., **50** (1979) 3113.
- 7) 山本英樹, 雑賀憲昭, 西守克己: 真空, **42** (1999) 163.
- 8) 山本英樹, 雑賀憲昭, 西守克己: 真空, **43** (2000) 193.
- 9) H. Yamamoto and N. Saiga: Jap. J. Appl. Phys., **35** (1996) 4833.